



Ryhmälähetys- ja adaptiiviset- suoratoistotekniikat IPTV- järjestelmissä.

Mikko Suppula

Opinnäytetyö
Joulukuu 2013
Tietotekniikka
Tietoliikennetekniikka
ja tietoverkot

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tietotekniikka
Tietoliikennetekniikka ja tietoverkot

MIKKO SUPPULA

Ryhmälähetys- ja adaptiiviset suoratoistotekniikat IPTV-järjestelmissä

Opinnäytetyö 44 sivua, josta liitteitä 0 sivua
Joulukuu 2013

Tietoliikenneverkkojen liikenne on jatkuvassa kasvussa, johon suurimpana syynä on multimedialiikenteen kasvu. Käyttäjämäärien nopeasti kasvaessa, kuvan ja äänen siirtäminen internetin yli on asettanut omat haasteensa tekniikalle. Verkoilta vaaditaan enemmän kapasiteettia ja suorituskkyä siirtämään aina vain korkealaatuisempaa kuvaa ja ääntä.

Tässä opinnäytetyössä kerrotaan nykyisistä ryhmälähetystekniikoista ja adaptiivisista suoratoistotekniikoista IPTV-järjestelmissä. Ryhmälähetystekniikkaan ja käytettäviin protokolliin tutustuttiin sekä IPv4- että IPv6-verkossa. Työssä suoritettiin käytännön osuus rakentamalla ryhmälähetysverkkokytkentä Tampereen ammattikorkeakoulun tietoliikenne laboratoriossa.

Adaptiivista suoratoistoa käsiteltiin teoriatasolla ja tutustuttiin eri valmistajien suoratoistostandardeihin.

Työssä otettiin katsaus mahdollisiin tulevaisuuden IPTV-tekniikoihin sekä esitettiin oma näkemys ryhmälähetyksen ja adaptiivisen suoratoiston yhdistämisestä.

Asiasanat: IPTV, multicast, adaptiivinen suoratoisto

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
ICT Engineering
Telecommunication and Networks

MIKKO SUPPULA

Multicast- and adaptive streaming techniques in IPTV-systems

Bachelor's thesis 44 pages, appendices 0 pages
December 2013

The traffic in telecommunication network is constantly increasing, which is mainly caused by the growth of multimedia traffic. A rapid increase of users transferring picture and sound over the internet has set a challenge for the network technology. The networks require more capacity and performance to transfer high quality picture and sound.

Multicast technology and protocols were explored IPv4 and IPv6 networks. The practical part was carried out by building a multicast network at Tampere University of Applied Sciences in the telecommunication laboratory.

Adaptive bitrate streaming were managed on a theoretical level including review of the various manufacturers streaming standards.

Possible future IPTV-techniques were reviewed and my own view of integrating multicast and adaptive bitrate streaming is presented.

Key words: IPTV, multicast, adaptive bitrate streaming

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	Internet Protocol Television (IPTV)	9
2.1	Määritelmä	9
2.2	Historia	10
2.3	Käyttäjämäärät	10
3	IPTV-tekniikka	13
3.1	IPTV verkkoelementit	13
3.1.1	Sisällönvälityksen runko (Video head end)	13
3.1.2	Runkoverkko (Core or edge network)	14
3.1.3	Liityntäverkko (Access network)	14
3.1.4	Kotiverkko (Home network)	14
3.2	Unicast, multicast ja broadcast	14
3.2.1	Unicast	14
3.2.2	Multicast	15
3.2.3	Broadcast	16
3.3	IGMP	17
3.3.1	IGMP version 1	17
3.3.2	IGMP version 2	17
3.3.3	IGMP version 3	18
3.3.4	IGMP Snooping	18
3.4	Protocol Independent Multicast (PIM)	19
3.5	PIM-Sparse Mode	19
3.6	Multicast Source Discovery Protocol (MSDP)	21
4	HTTP Progressive Download & Adaptive Bitrate Streaming	22
4.1	HTTP Progressive Download	22
4.2	Real-Time Transport Protocol (RTP)	22
4.2.1	Real Time Control Protocol (RTCP)	23
4.2.2	Real Time Streaming Protocol (RTSP)	23
4.3	Adaptive Bitrate Streaming	23
4.3.1	HTTP Dynamic Streaming (HDS)	26
4.3.2	HTTP Live Streaming (HLS)	26
4.3.3	HTTP Smooth Streaming (HSS)	26
4.3.4	Dynamic Adaptive Streaming over HTTP (DASH)	27
5	Ryhmälähetys IPv6 järjestelmissä	28
5.1	Multicast Listener Discovery (MLD)	28
5.2	Multicast Listener Discovery Snooping	29

5.3	Jokulähetys (Anycast)	29
5.4	Anycast Rendezvous Point (Anycast RP)	30
6	Elisa Viihde palvelu	32
6.1	Tallenteet.....	32
6.2	VoD.....	32
6.3	Lisäkanavat ja maksukanavat.....	32
7	Ryhmälähetyksen käytännön testaus	34
8	Tulevaisuuden IPTV-tekniikat	36
8.1	Adaptiivinen ryhmälähetystekniikka	36
8.2	IPTV kaapeliyhteyden yli	38
8.3	Videoiden pakkaus MPEG2 ja MPEG4.....	39
8.3.1	MPEG2	39
8.3.2	MPEG4	40
9	Pohdinta	41
	LÄHTEET	42

LYHENTEET JA TERMIT

ABR	<i>Adaptive Bitrate</i> , Adaptiivinen suoratoistotekniikka
ADSL	<i>Asymmetric Digital Subscriber Line</i> , Verkkokytkintekniikka
Anycast	<i>Jokulähetys</i> , tietoliikennetekniikassa viestin lähettäminen yhdelle ryhmän jäsenelle
Cisco	Tietoliikenne- ja elektroniikkateollisuusyritys
DASH	<i>Dynamic Adaptive Streaming over HTTP</i> , MPEG:n kehittämä adaptiivinen suoratoistotekniikka
DHCP	<i>Dynamic Host Configuration Protocol</i> , verkkoprotokolla
DNS	<i>Domain Name Server</i> , nimipalvelujärjestelmä
HAS	<i>HTTP Adaptive Streaming</i> , Adaptiivinen suoratoistotekniikka
HDS	<i>HTTP Dynamic Streaming</i> , Adoben kehittämä adaptiivinen suoratoistotekniikka
HDTV	<i>High Definition Television</i> , teräväpiirtotelevisio
HLS	<i>HTTP Live Streaming</i> , Applen kehittämä adaptiivinen suoratoistotekniikka
HSS	<i>HTTP Smooth Streaming</i> , Microsoftin kehittämä adaptiivinen suoratoistotekniikka
ICMP	<i>Internet Control Message Protocol</i> , kontrolliprotokolla, jolla lähetetään viestejä koneesta toiseen.
IGMP	<i>Internet Group Management Protocol</i> , protokolla joka mahdollistaa liittymisen multicast-ryhmään IPv4 verkossa
IP	<i>Internet Protocol</i> ,
IPTV	<i>Internet Protocol Television</i>
ITU	<i>International Telecommunication Union</i> , kansainvälinen televiestintäliitto
LAN	<i>Local Area Network</i> , lähiverkko
MLD	<i>Multicast Listener Discovery</i> , protokolla joka mahdollistaa liittymisen multicast-ryhmään IPv6 verkossa

MPEG	Moving Pictures Experts Group, videopakkausstandardien suunnitteluun erikoistunut ryhmä
Multicast	Ryhmälähetys, sama kehys lähetetään yhdeltä monelle
MSDP	<i>Multicast Source Discovery Protocol</i> , protokolla välittää multicast-paketteja PIM domainien välillä
NAT	<i>Network Address Translation</i> , osoitteenmunnos
OSI-malli	<i>Open Systems Interconnection</i> , pakettivälitteisen tietoliikenteen käsitelmä
OSPF	<i>Open Shortest Path First</i> , reititysprotokolla
PIM	<i>Protocol Independent Multicast</i> , ryhmälähetysprotokollien perhe
Protokolla	Sääntöihin perustuva määrittely, jota tietokoneet noudattavat
QoE	<i>Quality of Experience</i> , käyttäjäkokemuksen laatu
QoS	<i>Quality of Service</i> , palvelun laatu
RIP	<i>Routing Information Protocol</i> , reititysprotokolla
Router	Reitin, tietoverkkoja yhdistävä laite
Route	Reitti
RTP	<i>Real-time Transport Protocol</i> , tietoliikenneprotokolla tosiaikaisen median siirtoon
RTCP	<i>Real-time Control Protocol</i> , kontrollointiprotokolla, jota käytetään RTP:n rinnalla
RTSP	<i>Real-time Streaming Protocol</i> , tietoliikenneprotokolla multi median suoratoistoon
Switch	Verkkokytkin, joka yhdistää pakettikytkentäisen verkon osia
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i> , yhteydenmuodostusprotokolla tietokoneiden välillä
UDP	<i>User Datagram Protocol</i> ,
VLAN	<i>Virtual Local Area Network</i>
VLC	Alusta riippumaton mediasoitin
VOD	<i>Video on Demand</i> , videovuokraamo
WAN	<i>Wide Area Network</i> , laajaverkko
Wireshark	Ohjelma tietoliikennepakettien analysointiin

1 JOHDANTO

Viime vuosien aikana televisiotarjonta on siirtynyt joka vuosi enemmän ja enemmän internettiin. Palveluntarjoajat ja kivijalkavuokraamot ovat avanneet omia videopalveluita ja videovuokraamoita suoraan internettiin. Operaattorit ovat julkaisseet palvelukokonaisuuksia, missä laajakaistan mukana toimitetaan digiboksi ja sen kautta tuotettava multimediasisältö toimitetaan joko osittain tai kokonaisuudessaan internetin yli. Televisio valmistajat ovat myös alkaneet tuottamaan omia internet-TV ratkaisujaan.

Suurin syy palveluiden lisääntymiseen ja yleistymiseen on ollut käyttäjien tarpeet. Ihmiset haluavat enemmän palveluiltaan ja laitteiltaan. Kokonaisvaltaisten palveluiden kautta tämä on tullut mahdolliseksi. Laajempien palvelukokonaisuuksien kautta pystytään käyttäjille tarjoamaan enemmän sisältöä, käytettävyyttä ja persoonallisuutta.

Tässä työssä käydään läpi tekniikoita IPTV-järjestelmien (Internet Protocol Television) takana, joiden avulla pystytään välittämään TV-kuva ja ääni internetin yli kuluttajille. Käyttäjämäärien kasvaessa, kuvan ja äänen siirtäminen internetin yli, on asettanut haasteita myös tekniikalle. Verkoilta vaaditaan enemmän kapasiteettia ja suorituskykyä siirtämään aina vain korkealaatuisempaa kuvaa ja ääntä. Tällä hetkellä käytetyimpiä tiedonsiirtoprotokollia IPTV-tekniikassa ovat ryhmälähetys (multicast) sekä adaptiivinen suoratoisto (adaptive bitrate), joihin tulemme työssä tutustumaan.

Työn tavoitteina on tutkia nykyisten ryhmälähetystekniikoiden toteutuksia ja toimivuutta sekä mahdollisesti vaihtoehtoisia protokollia ja kehittämiskohteita. Työni kautta olen ollut viimeiset kolme vuotta tekemisissä IPTV-tekniikan kanssa, joten aiheen valinta oli luonnollinen itselleni. Tavoitteenani on myös kehittää itseäni IPTV-tekniikan parissa ja mahdollisuuden tuoda itselleni ja työnantajalleni uusia näkökulmia.

2 Internet Protocol Television (IPTV)

Analoginen TV-lähetys on ollut olemassa jo reilusti yli 60 vuotta. Tänä aikana käyttäjät ovat kokeneet tekniikan vaihtuvan musta-valkoisesta kuvasta värilliseen, jolloin värillistä kuvaa halutessaan piti hankkia uusi TV. Tämä vaihdos ei aiheuttanut laitteistopäivityksiä ainoastaan käyttäjille vaan koko TV-kuvan välitysketjulle lähettimiä ja tuotannollisia laitteita myöden. Toinen muutos koettiin 1. syyskuuta 2007, jolloin analogiset lähetykset lopetettiin Suomessa ja siirryimme digitaalisiin lähetyksiin.

Tällä hetkellä olemme kokemassa uutta suurta muutosta, missä perinteistä televisiota ollaan piilottamassa autotallin takanurkkaan. Tutusta antenni- ja kaapeliverkkojen kautta välitetystä RF-signaalista, ollaan siirtymässä IP-pohjaiseen ratkaisuun.

2.1 Määritelmä

International Telecommunication Union (ITU) on määritellyt IPTV (Internet Protocol Television) – termin tarkoittavan multimedian, kuten kuvan, äänen tai tekstin siirtämistä IP-pohjaisen verkon yli kuluttajan päätelaitteeseen. Määritelmässä palveluntarjoajaa vaaditaan myös täyttämään laatu- ja turvallisuusasetukset. (Viestintäministeriö 2011.) IPTV:n määritelmä ei siis ainoastaan rajoitu televisiolähetysten välitykseen.

IPTV:n kautta kuluttajalle pystytään tarjoamaan sekä lineaarisia, että epälineaarisia multimediaspalveluita. Lineaariseksi palveluiksi katsotaan lähetykset, mihin käyttäjä ei pysty itse vaikuttamaan, esimerkiksi suora televisiolähetys. Epälineaariseksi katsotaan esimerkiksi Video On Demand (VOD) videovuokraamopalvelut, mihin kuluttaja pystyy itse vaikuttamaan.

IPTV:n ominaisuuksia:

- Suoran tai tallennetun TV-lähetysten välittäminen IP-verkon yli kuluttajalle.
- IPTV-lähetys on mahdollista pysäyttää ja jatkaa katsomista myöhemmin siitä kohdasta, mihin katsominen jäi. Ominaisuudesta käytetään nimitystä ajansiirto (time shifting).

- IPTV-lähetys on mahdollista tallentaa. IPTV:n avulla pystytään tallentamaan useampaa lähetystä samanaikaisesti. Tallenteet pystytään katsomaan käyttäjälle sopivampana ajankohtana.
- Tilausvideoiden vuokraaminen ja katselu (VOD).
- TV on demand- tai Catch Up-palvelu. Palveluntarjoajan nauhoittamat tallenteet.
- Usean kuvakulman välittäminen IPTV-sovellukseen, missä käyttäjä voi itse valita haluamansa kuvakulman.

2.2 Historia

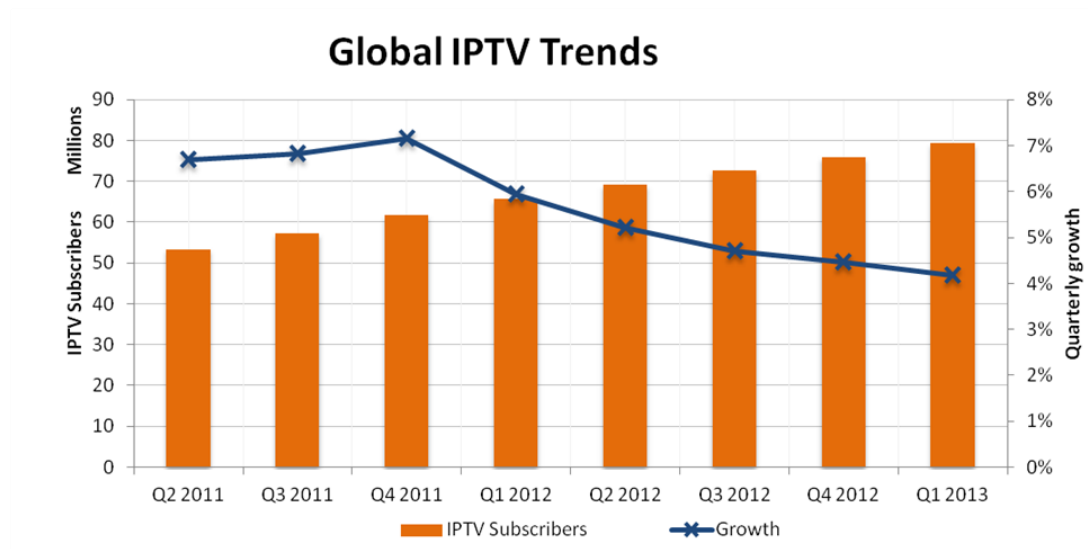
Ensimmäinen IP-verkon yli näytetty televisio-ohjelma oli ABC-kanavan World News-ohjelma vuonna 1994. Ohjelman toteutuksessa käytettiin CU-SeeMe-nimistä videokonferenssi ohjelmaa.(The Economic Times 2006.)

IPTV tuli ensimmäisen kerran ilmi vuonna 1995, kun Yhdysvaltalainen yritys Precept Software kehitti tuotteen, jonka nimeksi tuli IP/TV.(IPTV Australia 2013.)

Vuonna 1998, Internet radiokanava AudioNet aloitti ensimmäisenä jatkuvan, suoran weblähetksen, mikä katsotaan olevan historian ensimmäinen IPTV-lähetys. (The Economic Times 2006.)

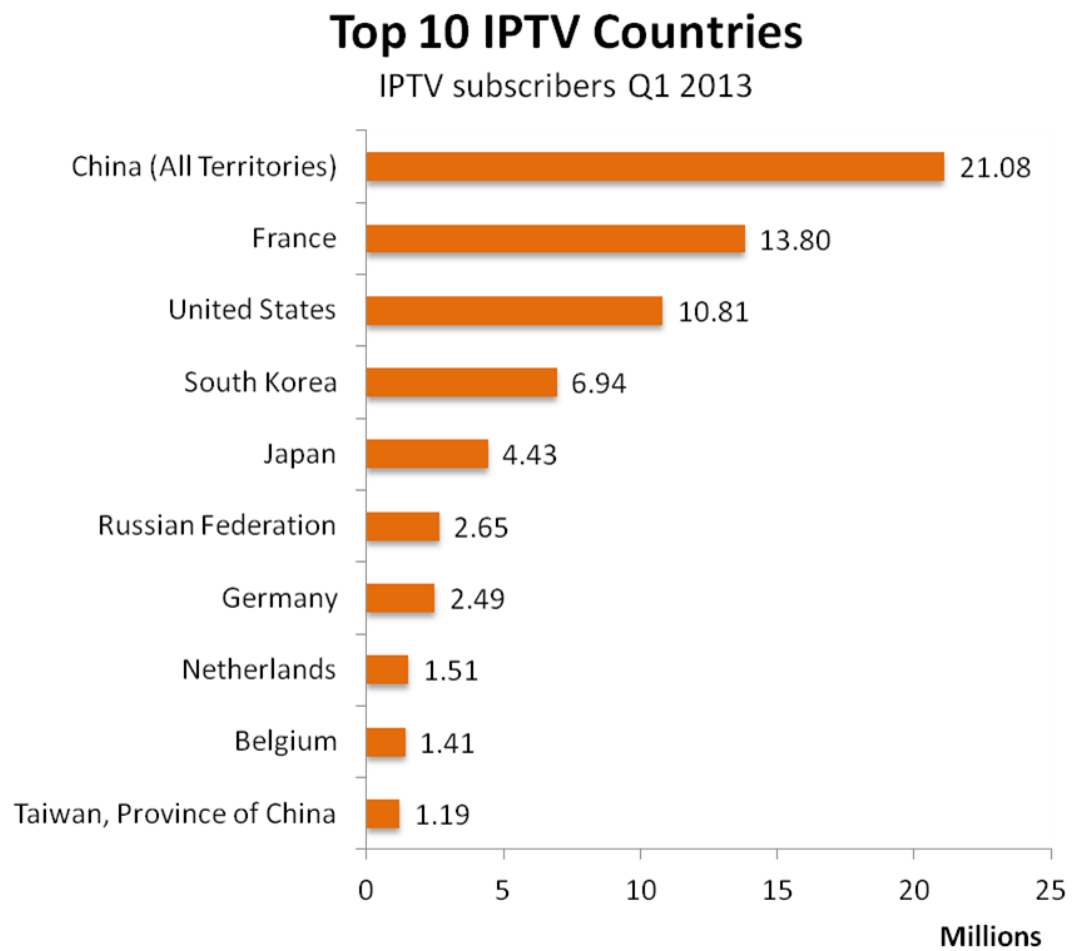
2.3 Käyttäjämäärät

IPTV:n käyttäjämäärät ovat kasvaneet viime vuosina räjähdysmäisesti. Yhtenä syynä on ollut TV-tekniikan digitalisointi, mikä on tuonut uudenlaisia, käyttäjäystävällisiä palveluita kuluttajille.



KUVA 1. IPTV-tilaajien kasvu maailmanlaajuisesti (Point-Topic 2013.)

Maaliskuussa 2013, Point-topicin tutkimuksen mukaan, maailmassa oli noin 79 miljoonaa IPTV-palveluiden käyttäjää. Viime vuosien räjähtävästä käyttäjämäärien kasvustatrendi on kääntynyt hienoiseen laskuun, käyttäjien kuitenkin kasvaessa edelleen. Tällä hetkellä kvartaalikohtainen käyttäjämäärän kasvu on noin 4 %. Parhaimmillaan käyttäjämäärän kasvu on ollut yli 7 % kvartaalissa.(Point-Topic 2013.)



KUVA 2. IPTV käyttäjämäärät Top10 (Point-Topic 2013.)

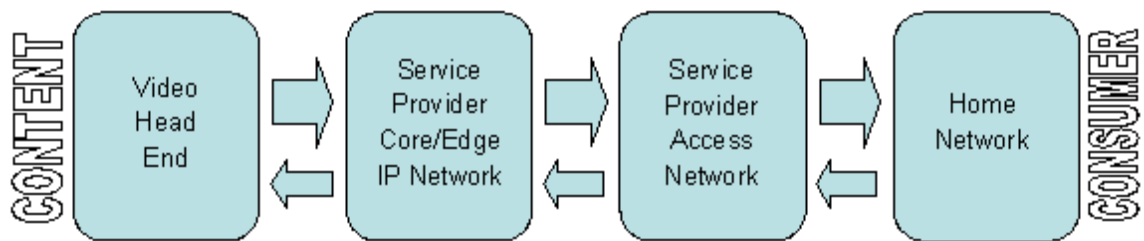
Maaliskuussa 2013, Point-topicin tutkimuksen mukaan, Kiinassa oli eniten IPTV-palveluiden käyttäjiä. Euroopan kärkisijaa piti Ranska lähes 14 miljoonalla käyttäjällään. (Point-Topic 2013.)

3 IPTV-tekniikka

3.1 IPTV verkkoelementit

IPTV koostuu neljästä laajemmasta verkkoelementistä. Verkkoelementit ovat seuraavat:

1. Sisällönvälityksen runko (Video head end)
2. Runkoverkko (Core or edge network)
3. Liityntäverkko (Access network)
4. Kotiverkko (Home network)



KUVA 3. IPTV:n verkkoelementit (iec.org 2013.)

3.1.1 Sisällönvälityksen runko (Video head end)

Sisällönvälityksen rungolla tarkoitetaan päätoimintoa vastaanottaa multimedia sisältöä sisällöntuottajilta ja alustaa se jakeluverkkoon sopivaksi. Sisällönvälityksen runko ei ole pelkästään käytössä IPTV-tekniikan puolella, vaan se kuuluu myös tavallisen kaapeli-tv:n tai satelliitti-tv:n elementteihin. Sisällönvälityksen runko käsittelee jokaisen kanavan erikseen ja koodaa sen digitaaliseen video muotoon. Käytetyimpiä standardeja kanavien pakkaamiseen ovat MPEG-2 sekä MPEG-4. Pakkaamisen jälkeen jokainen kanava kapseloidaan IP-paketeiksi ja lähetetään verkkoon. Tyypillisesti paketit ovat multicast tai unicast paketteja.(iec.org 2013.)

3.1.2 Runkoverkko (Core or edge network)

IPTV-runkoverkko välittää sisällönvälitykseltä saamansa koodatut paketit liittytäkverkkoon. Runkoverkossa voi sijaita myös laitteet paikallisten lähetyksen lähettämiseen.(iec.org 2013.)

3.1.3 Liityntäverkko (Access network)

Liityntäverkko toimii yhdistävänä siteenä palveluntarjoajan ja käyttäjän välillä. Liityntäverkossa sijaitsevat erilaiset kuluttajille toimitettavien laajakaistaverkkojen tekniikat, kuten ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line), VDSL (Very-high-speed Digital Subscriber Line), kaapelimodeemi- tai valokuitutekniikka. Edellä mainittuihin tekniikoihin ei tulla tässä työssä tarkemmin tutustumaan. Liityntäverkon tehtävänä on välittää runkoverkolta saamansa IPTV-verkkoliikenne oikealle käyttäjälle.(iec.org 2013.)

3.1.4 Kotiverkko (Home network)

Kotiverkossa päätelaite on yhteydessä liittytäkverkkoon ja vastaanottaa sen lähettämän IPTV-verkkoliikenteen. Päätelaite voi olla laajakaistamodeemi, reititin, digiboksi tai tietokone.(iec.org 2013.)

3.2 Unicast, multicast ja broadcast

Tietokoneet kommunikoivat toistensa kanssa vaihtamalla datapaketteja keskenään. Tiedonsiirrossa on olemassa neljä erilaista reititysmallia, millä tietokoneet vaihtavat tietoa keskenään. Nämä yhteystavat ovat täsmälähetyks (unicast), ryhmälähetyks (multicast), yleislähetyks (broadcast) ja jokulähetyks (anycast). Tästä eteenpäin tulemme työssä käyttämään yhteystapojen englannin kielisiä nimityksiä.

3.2.1 Unicast

Unicast tarkoittaa paketin lähettämistä yhteen kohteeseen. Yhteystavasta käytetään myös nimitystä point-to-point, sillä lähetyksessä on aina yksi lähettäjä ja vastaanottaja. Tällä hetkellä suurin osa tietoliikenteestä on unicast tyyppistä liikennettä. Unicast

perustuu niin kutsuttuun hop-by-hop malliin, missä sama datapaketti välitetään reitittimeltä (hop) toiselle ja edelleen vastaanottajalle asti. Paketti välitetään lähettäjältä vastaanottajalle käyttäen lyhintä reittiä (Shortest Path), jolloin vähiten reitittimiä tulee käytyä läpi. Lyhimmän reitin laskemiseen käytetään algoritmia (esim. Dijkstran algoritmi) (cs.jhu.edu 2013.) Suurin osa perinteisistä IP-sovelluksista, kuten verkkoselain tai sähköpostiohjelma, käyttävät unicast tekniikkaa.

Unicast soveltuu parhaiten sovelluksiin, missä jokaisella käyttäjällä on omat tarpeensa. Esimerkiksi käyttäjä kirjoittaa internet sivun osoitteen selaimeensa, jolloin kyseisen sivuston palvelin palauttaa halutun sivun selaimeen käyttäjälle. Unicast tekniikkaa ei kuitenkaan voida käyttää kaikkeen tiedonsiirtoon. Internetiin on tuotu sovelluksia, missä samanaikaisesti voi olla useita vastaanottajia ja lähettäjiä. Nämä sovellukset käsittävät yhdeltä-monelle (one-to-many) ja monelta-monelle (many to many) tyyppistä tiedonsiirtoa. Tämän tyyppisiä tiedonsiirtomenetelmiä käyttävät multimediasovellukset, moninpelit ja videovuokraamot.

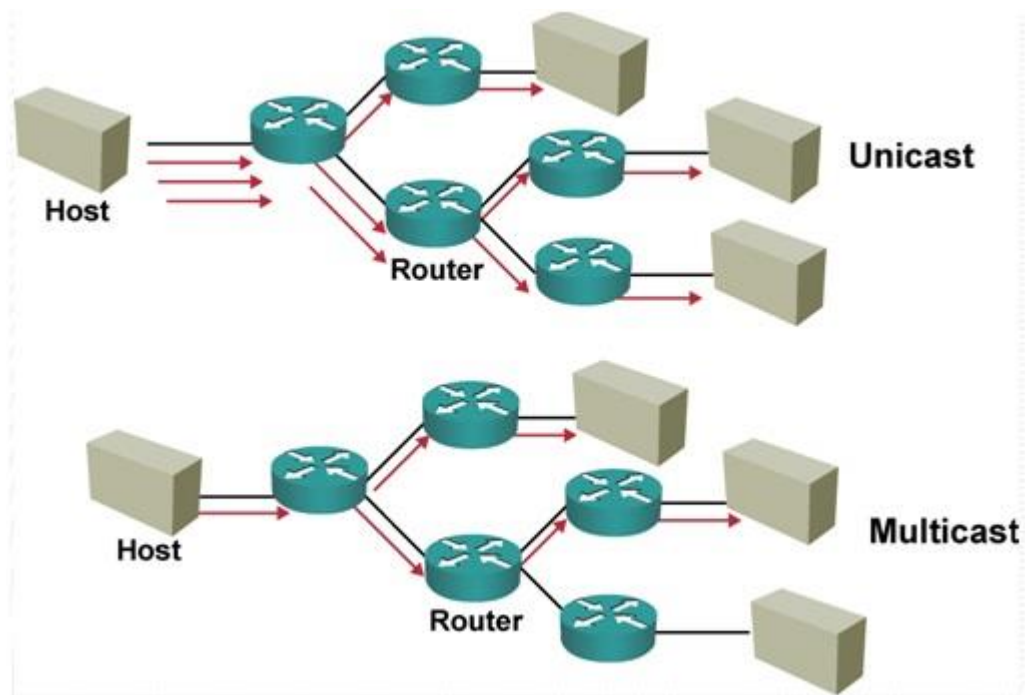
Mikäli tämänkaltaisissa sovelluksissa käytettäisiin unicast tekniikkaa, aiheuttaisi se huomattavaa ruuhkaa runkoverkkoon ja palvelimiin. Otamme esimerkiksi TV-kanavan välittämisen IP-tekniikan yli, jota katsoo tällä hetkellä 10 000 katsojaa. Unicast tekniikkaa käytettäessä, palvelimen tulee lähettää samanaikaisesti 10 000 vastaanottajalle datapaketti, mikä on sisällöltään samanlainen. TV-kuvan vastaanottaminen vaatii käyttäjältä 1 Mb/s yhteyden nopeuden ja palvelimella on käytettävissä nopeudeltaan 1 Gb/s yhteys. Tästä laskettuna, palvelimen verkko olisi täysin käytettynä jo 1000 käyttäjän kohdalla, jättäen huomioimatta palvelimen mahdollisen muun verkkoliikenteen. Edellä kerrotun ongelman ratkaisemiseksi keksittiin multicast.

3.2.2 Multicast

Multicast tekniikka tarvitaan kun halutaan lähettää paketti usealle vastaanottajalle. Ei kuitenkaan kaikille verkkoon liittyneille, vaan tietyille kohderyhmälle.

Kun unicast tekniikassa palvelimelta lähetettiin kaikille käyttäjille oma datapakettinsa, niin multicast tekniikassa lähetetään ainoastaan yksi. Kun verkossa reitti haarautuu, reitin kopio vastaanottamansa paketin ja välittää sen eteenpäin kohti vastaanottajia.

Multicast tekniikan hyötyjä on kahdenlaisia. Sen avulla pystytään merkittävästi vähentämään palvelimen kuormitusta, sillä paketteja lähetetään ainoastaan yksi yhteys kohden. Lisäksi runkoverkon kuormitus vähenee merkittävästi, sillä verkossa liikkuu vähemmän paketteja.



KUVA 4. Unicastin ja multicastin vertailukaavio (starnetworks.info 2011.)

Kuvassa 4 on esitetty multicast-viestien lähetys verrattuna unicast-viesteihin.

3.2.3 Broadcast

Yleislähetyksellä eli broadcastilla tarkoitetaan verkossa liikkuvien IP-pakettien kulkevan kaikille verkossa oleville laitteille. Otetaan esimerkki IPTV puolelta. Jos palvelin konfiguroidaan käyttämään broadcastia, IPTV-kanava lähetetään kaikille verkossa oleville IPTV-digibokseille, riippumatta siitä ovatko digiboksit pyytäneet videonaalia. Tällöin päätelaitteet joutuvat prosessoimaan tarpeetonta videoliikennettä. Myös reititystuen puuttuminen tekee broadcastista täysin sopimattoman IPTV-pakettien välitykseen.

3.3 IGMP

Multicast tekniikassa vastaanottajien pitää kuulua multicast-ryhmään (multicast group), vastaanottaakseen multicast-paketteja. Ryhmien avulla paketit voidaan kohdistaa vain ryhmän jäsenille. Ryhmien määrittelyyn ja pakettien välittämiseen käytetään IGMP (Internet Group Management Protocol) protokollaa. IGMP käytetään IPv4 järjestelmissä. Verkon reitittimet voivat kuulua yhteen tai useampaan multicast-ryhmään.

Jokainen multicast-ryhmä tunnistetaan luokan-D multicast IP-osoitteella. Luokan-D IP-osoitteet ovat välillä 224.0.0.0 – 239.255.255.255. Tämän alueen osoitteet ovat määritelty IETF¹ standardissa RFC5771. (ietf.org 2010.) Vastaanottaakseen tietoa multicast-ryhmältä, käyttäjän tulee liittyä ryhmään olemalla yhteydessä reitittimeen tai kytkimeen, missä pitää olla TCP/IP-pinoon kuuluvaa IGMP (Internet Group Management Protocol) protokolla aktivoituna. Kun käyttäjä liittyy multicast-ryhmään, se vastaanottaa kaiken datan, joka lähetetään multicast-ryhmän osoitteeseen. (University of Dallas 2013)

3.3.1 IGMP version 1

IGMP versio 1 on määritelty IETF alkuperäisessä standardissa RFC 1112. Ensimmäinen versio on yksinkertainen protokolla koostuen kahdesta viestistä: Membership Report ja Membership Query. Käyttäjän liittyessä multicast-ryhmään lähettää päätelaite Report viestin. Reititin vastaa Query viestillä vahvistaakseen, että käyttäjä on edelleen kiinnostunut liittymään multicast-ryhmään. (ietf.org 1989.)

3.3.2 IGMP version 2

IGMPv2 tuo mukanaan uuden Leave Group viestin, jonka käyttäjä lähettää paikalliselle reitittimelle, poistuakseen multicast-ryhmästä. Membership Query-viestin toiminnallisuutta on laajennettu. Query viestit on jaettu kahteen alatyyppiin: General Query sekä Group Specific Query. General Query-viestiä käytetään kartoittamaan, millä ryhmillä on käyttäjiä liitettyssä verkossa. Group Specific Query-viestillä voidaan kartoittaa, onko tietyllä ryhmällä käyttäjiä liitettyssä verkossa. Versio 2 on sisällytetty

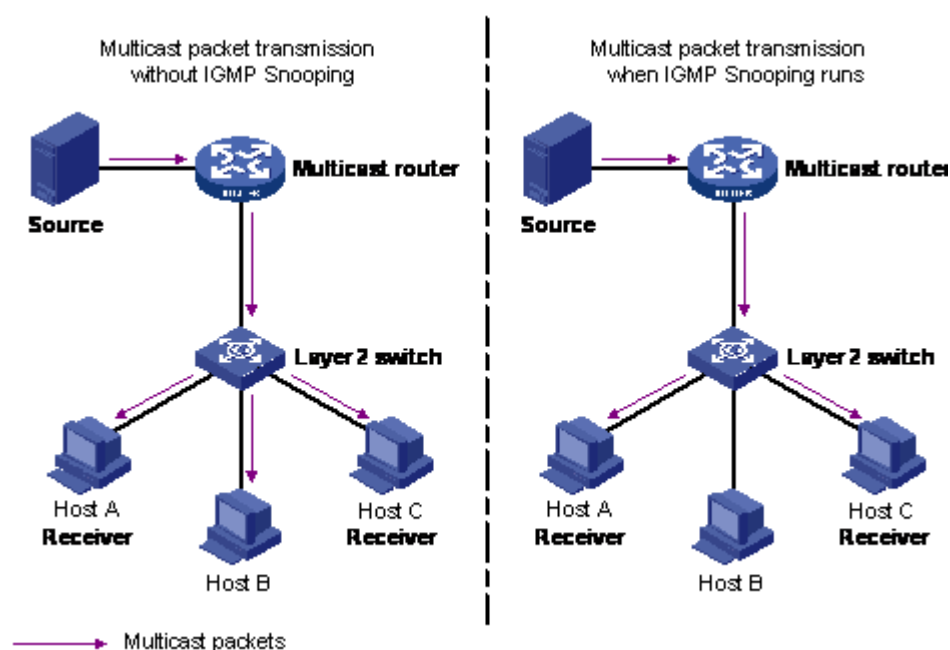
ensimmäisen version Membership Report-viesti, joten se säilyttää toiminnallisuuden myös IGMPv1 kanssa.(ietf.org 1997.)

3.3.3 IGMP version 3

IGMP:n kolmas versio lisää tuen niin kutsutulle lähdesuodatukselle (source filtering), jolla järjestelmä voi ilmoittaa kiinnostuksensa vastaanottaa paketteja vain tietyltä lähettäjältä tai vastaanottaa paketteja kaikilta muilta paitsi tietyltä lähettäjältä.(ietf.org 2002.)

3.3.4 IGMP Snooping

IGMP datagrammien toimiessa IP-protokollan päällä, OSI-mallin siirtokerroksella (Data Link Layer) toimivat kytkimet eivät pysty selvittämään mihin multicast-ryhmään vastaanottaja kuuluu. Ongelmaan kehitettiin IGMP Snooping–tekniikka, jonka avulla kytkin pystyy kuuntelemaan milloin verkossa kulkee IGMP-viestejä. Tekniikan avulla kytkin pystyy oppimaan, mihin multicast-ryhmään lähiverkon tietokoneet kuuluvat ja täten välittää IGMP-datagrammit oikeille vastaanottajille. Ilman Snooping–tekniikkaa, kytkin välittäisi viestit broadcast-lähetyksenä kaikille lähiverkon jäsenille, mikä aiheuttaisi tarpeetonta resurssien käyttöä multicast-ryhmään kuulumattomille vastaanottajille.(H3C.com 2013.)



KUVA 5. IGMP Snooping tekniikan toiminta (H3C.com 2013.)

3.4 Protocol Independent Multicast (PIM)

PIM on IP-verkkoihin suunniteltu reititysprotokolla riippumaton tekniikka. Vaikka PIM-tekniikkaa kutsutaan multicast reititysprotokollaksi, niin varsinaisesti se ei sitä ole. PIM-tekniikka käyttää multicast-datagrammien välittämiseen verkossa käytössä olevan unicast reititysprotokollan reititystietoja. PIM-tekniikkaa voidaan käyttää muun muassa seuraavien reititysprotokollien päällä:

- EIGRP (Enhanced Interior Gateway Routing Protocol)
- OSPF (Open Shortest Path First)
- BGP (Border Gateway Protocol)
- Staattinen reitti (Static Route)

Poiketen muista reititysprotokollista PIM ei luo omaa reititystaulua, eikä myöskään lähetä tai vastaanota reititystaulun päivitysviestejä.

PIM-tekniikasta on olemassa neljä variaatiota: PIM Sparse Mode (PIM-SM), PIM Dense Mode (PIM-DM), Bidirectional PIM ja PIM Source-Specific Multicast (PIM-SSM). Näistä variaatioista PIM-SM on eniten käytetyin IPTV-tekniikassa. (Cisco 2013.)

3.5 PIM-Sparse Mode

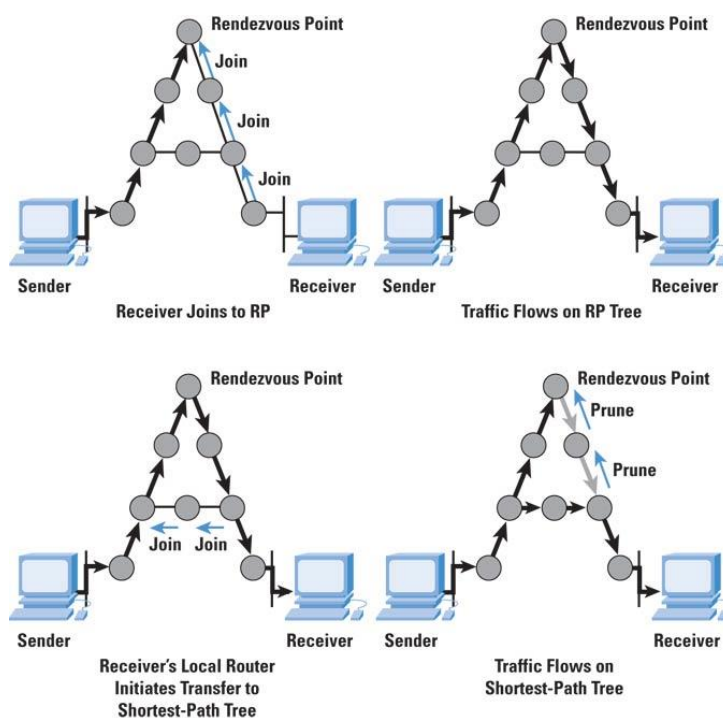
PIM-SM perustuu yksisuuntaisiin jaettuihin reitityspuihin (Shared Tree). Sparse-Mode-protokolla valitsee verkosta yhden reitittimen niin kutsutuksi kohtauspaiaksi (rendezvous point), jonka kautta paketit kulkevat oletuksena lähettäjältä vastaanottajalle. Jokaisella multicast-ryhmällä on oma kohtauspaiikka, mutta sama reititin voi toimia useamman multicast-ryhmän kohtauspaiikkana. Jos reititin irroitetaan verkosta, valitsee PIM-SM-protokolla verkosta uuden reitittimen kohtauspaiaksi. Kohtauspaiikka rakentaa jokaisesta multicast-ryhmään osallistuneesta vastaanottajasta jaetun reitityspuun.

Kun lähettäjä aloittaa pakettien lähettämisen multicast-ryhmäosoitteeseen, lähiverkon reititin vastaanottaa paketit ja kapseloi ne uudelleen vaihtaen kohdeosoitteeksi kohtaupaikan osoitteen. Kapselointi tehdään alkuperäisen paketin päälle, eli voimme

kuvitella laittavamme kirjokuoren toisen sisään. Paketti välitetään unicast-protokollan yli kohtauspaikalle. Kohtauspaikka vastaanottaa paketit, purkaa kapseloinnin ja välittää paketit eteenpäin kohti vastaanottajia, jaetun reitityspuun mukaisesti.

Kun vastaanottaja liittyy multicast-ryhmään, lähettää lähiverkon reititin liittymisviestin kohti kohtauspaikkaa, esittäen näin kiinnostuksensa vastaanottaa multicast-ryhmän viestejä. Kohtauspaikka oppii näin vastaanottajan sijainnin ja osaa reitittää paketit vastaanottajalle.

Pakettien kulkeminen lähettäjältä kohtauspaikkaan ja sieltä edelleen vastaanottajalle saattaa olla kiertoreitti, jolloin vasteaika ja kaistan käyttö ei ole optimaalista. Vastaanottajan reititin voi pyytää kohtauspaikalta pakettien välittämisen siirtymään jaetusta reitityspuusta – lyhimmän reitin (Shortest-Path-Tree, SPT) malliin. Mikäli lyhyempi reitti löytyy, vastaanottajan reititin vastaanottaa paketteja hetken aikaa sekä kohtauspaikalta että lyhimmän reitin mukaisesti. Reititin lähettää Prune-viestin kohtauspaikalle, joka kulkee hop-by-hop mukaisesti kohtauspaikalle, merkiten samalla reitin, mitä kautta multicast-paketteja ei haluta enään välitettävän vastaanottajalle. (ietf.org 2006.)

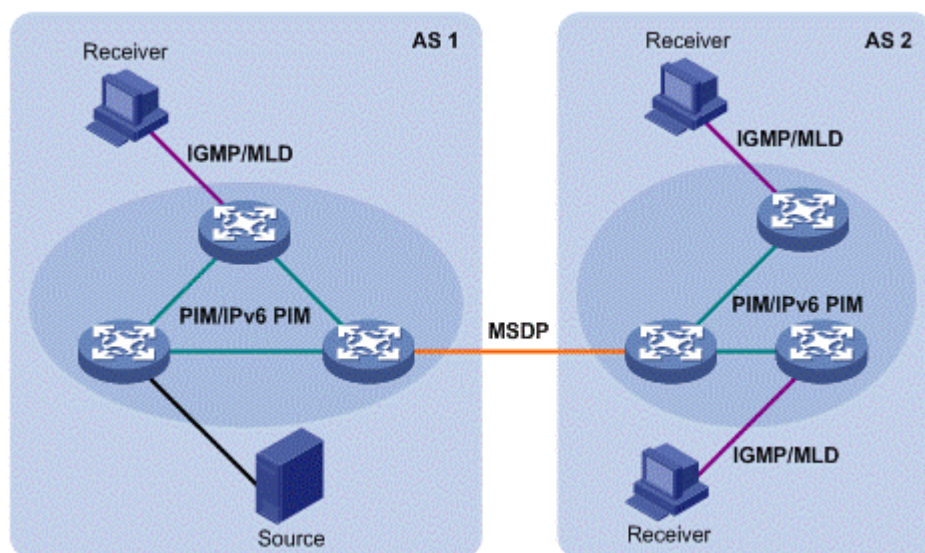


KUVA 6. PIM-SM kohtauspaikan toiminta (Cisco 2013.)

3.6 Multicast Source Discovery Protocol (MSDP)

Multicast Source Discovery Protocol (MSDP) protokollan tarkoitus on olla yhteydessä MSDP vertaisilleen toisissa toimialueissa. MSDP:n avulla välitetään tietoa aktiivisten ryhmälähetys kohtaamispaikkojen (Rendezvous Point) välillä.

Kun uusi multicast-ryhmä liitetään verkkoon ja tieto tästä menee lähimmälle kohtaamispaikalle, lähettää kohtaamispaikka Source-Active (SA) viestin kaikille MSDP:n kautta yhteydessä oleville vertaisilleen. Mikäli toisessa toimialueessa on käyttäjiä, jotka ovat kiinnostuneita liittymään multicast-ryhmään, käytetään PIM-SM-protokollaa välittämään multicast-paketit toimialueiden välisen reitityspuun mukaisesti. Reitittimet voivat myös määritellä käytettäväksi lyhimmän reitin mallia, kuten kappaleessa 3.3.1 esitettiin. (ietf.org 2003.)



KUVA 7. MSDP kytkentä kahden PIM toimialueen välillä (H3C.com 2013.)

4 HTTP Progressive Download & Adaptive Bitrate Streaming

Mediasisällön siirtyessä enenevässä määrin vanhoilta tallennusmuodoilta IP-verkkoon, useita HTTP-suoratoistoprotokollia (HTTP Streaming Protocols) on kehitetty sen myötä. Mediaa toistettaessa IP-verkon yli, pitää ottaa huomioon vastaanottajien laitteiden ja verkkojen erilaisuudet ja sen pohjalta on lähdetty rakentamaan entistä helpompia ja tehokkaampia ratkaisuja. Aikaisemmin suoratoistoprotokollista piti valtaa RTP (Real-Time Transport Protocol) RTSP:n (Real Time Streaming Protocol) kanssa. Erityisesti HTTP Adaptive Bitrate Streaming tekniikka esiintyy suuressa roolissa tämän päivän median toistossa IP-verkon yli.

4.1 HTTP Progressive Download

Aiemmin videotiedostot latautuivat kokonaisuudessaan tietokoneelle, ennen kuin toisto aloitettiin, josta johtuen käyttäjät joutuivat odottamaan pitkiäkin aikoja ennen kuin videota pääsi katsomaan. Progressive Download tarkoittaa pakatun videotiedoston toiston aloittamista, ennen kuin video on kokonaan latautunut. Progressive Download tekniikan ansiosta, käyttäjät pääsevät katsomaan videota nopeammin. Video toimitetaan yleensä tavalliselta HTTP-palvelimelta.

HTTP Progressive Download ja suoratoistomedian suurin ero on, kuinka mediatiedosto on vastaanotettu ja tallennettu vastaanottajan laitteelle. Vaikka katselukokemus on samankaltainen, Progressive Download videoissa tiedosto tallentuu tietokoneen paikalliseen tilapäiskansioon, josta mediatoistin toistaa tiedoston. Tästä on erityisesti hyötyä, mikäli käyttäjällä on hitaampi internet-yhteys käytössä. Tämän katsotaan myös olevan ongelma, sillä videotiedosto on helppo kopioida sen tallennuttua tietokoneen kovalevylle. (OnlineVideo.net 2011.)

4.2 Real-Time Transport Protocol (RTP)

Suoratoistossa tärkeä elementti on, että videokuva ja ääni ovat synkronoituja vastaanottajan laitteella. Suosituimmista kuljetusprotokollista, kuten UDP ja TCP eivät ole ihanteellisia multimedian suoratoistoon. Tästä syystä kehitettiin Real-Time Transport Protocol (RTP). RTP on end-to-end protokolla, jolla siirretään reaaliaikaista

tietoa unicast ja multicast verkoissa. RTP:llä pyritään suoraviivaiseen multimedian välittämiseen. Useimmiten tiedon lähetys tapahtuu UDP:n yli, jolloin matkalla hukkuneita paketteja ei uudelleen lähetetä. Sopivalla virheen korjauksella, pakettien häviöt pystytään tekemään käyttäjälle huomaamattomaksi. Mikäli tähän käytettäisiin esimerkiksi TCP:tä, lähetettäisiin matkalla hukkuneet paketit uudelleen, mikä aiheuttaisi ”katkoksen” vastaanottajan suoratoistossa uutta pakettia odotellessa. (ietf.org 2003.)

4.2.1 Real Time Control Protocol (RTCP)

Real Time Control Protocol (RTCP) käytetään RTP:n kanssa pakettien välittämisen, multimedian kapselointiin ja laadun tarkkailuun. RTCP ei kuitenkaan osallistu pakettien kuljetukseen vastaanottajalle. Tyypillisesti RTP:lla paketit lähetetään parilliseen UDP porttiin ja RTCP viesti seuraavaan, parittomaan UDP porttiin. RTCP päätavoite on laadun tarkkailu. RTCP kerää tietoa RTP yhteydestä, jota voidaan sopivalla sovelluksella lukea ja siten säätää tarvittaessa linjalle sopivampia QoS-parametrejä. RTCP:n keräämiä tietoja ovat: välitettyjen tavujen ja pakettien määrä, pakettihäviö, linjaväriä ja edestakainen viive. (ietf.org 2003.)

4.2.2 Real Time Streaming Protocol (RTSP)

Real Time Streaming Protocol (RTSP) on RTP:n kanssa sovellustasolla käytettävä kontrollointi protokolla. RTSP avulla päätelaite ja palvelin pystyvät reaaliaikaisesti kommunikoimaan. Protokollan avulla käyttäjä pystyy esimerkiksi pysäyttämään multimedian toiston ja jatkamaan sitä halutessaan. (ietf.org 1998.)

4.3 Adaptive Bitrate Streaming

Adaptiiviset suoratoisto menetelmät ovat yleistyneet lähiaikoina huomattavasti. Videoiden näyttäminen IP-verkon yli on kasvanut räjähdysmäisesti, eikä perinteiset suoratoistotekniikat enää taivu suurin käyttäjämääriin hyväksyttävällä QoE (Quality of Experience) tasolla. Tekniikasta esiintyy yleisesti kahta lyhennettä: HAS (HTTP Adaptive Streaming) sekä ABR (Adaptive Bitrate).

Adaptiivisen suoratoiston tunnusmerkkinä on automaattinen videon kaistanleveyden säätäminen. Adaptiiviset protokollat mittaavat käytettävissä olevan kaistanleveyden ja säätävät näytettävän videon laadun sen mukaan. Myös muita suorituskykyyn vaikuttavia ominaisuuksia voidaan ottaa huomioon, kuten prosessorin tehokkuus ja näytön koko. Tekniikan suurin hyöty on mukautuvuus riippumatta käytettävästä kaistanleveydestä sekä päätelaitteesta, joten tekniikkaa voidaan soveltaa aina valokuituyhteyden päässä sijaitsevasta HD-laitteesta mobiiliverkon yli toimivaan tablettiin. Adaptiivisen suoratoiston ansiosta käyttäjäkohtainen QoE on paremmalla tasolla. Perinteisissä suoratoisto menetelmissä, bufferoinnin alisuoriutuminen on ollut ongelmana, mikä aiheuttaa useimmiten videon katselussa keskeytymisen. Adaptiivisella suoratoistolla katselun keskeytymistä ei tapahdu, sillä järjestelmä säätää tarvittaessa videon välitykselle uudet asetukset. (Riiser 2013.)

Adaptiivisessa suoratoistossa videotiedosto on jaettu pienempiin osiin, järjestettyihin segmentteihin. Segmentit ladataan yksi kerrallaan järjestyksessä, kun taas progressiivisessa latauksessa video ladattiin kokonaisuudessaan tietokoneelle. Jokainen segmentti sisältää 2-10 sekuntia videomateriaalia. Käytännössä jokainen segmentti on oma videoklippinsä, joten katsomisen voi aloittaa mistä segmentistä tahansa. Segmentoitu data voi olla peräisin yhdestä tai useammasta lähdetiedostosta. Esimerkiksi kuva, ääni ja tekstitykset voivat olla palvelimella eri lähteinä jolloin nämä multipleksataan samaan segmenttiin. (Riiser 2013.)

Videot ovat yleensä saatavilla useammalla eri kaistanleveydellä. Mitä enemmän kaistanleveyttä, sen parempi videon laatu on. Videon laatu voi ainoastaan vaihtua segmenttien välissä, joten uuden laadun käyttöönotossa kestää segmentin koon verran, eli tyypillisesti 2-10 sekuntia. Segmentin lataus tapahtuu täysin samalla tavalla, kuin minkä tahansa muun tiedoston lataaminen HTTP protokollan yli. Jokainen segmentti pyydetään palvelimelta HTTP GET-pyyynnön avulla. Palvelin palauttaa URLin, joka sisältää tiedon videosegmentin ensimmäisestä kehyksestä, videon kielikoodin, kaistanleveyden sekä kaiken muun tarvittavan tiedon, jotta segmentti voidaan tunnistaa seuraavaksi ladattavaksi tiedostoksi.

Yksi video saattaa koostua sadoista segmenteistä, jolla jokaisella on oma URLinsa. Jotta toistamisesta saadaan saumaton, käytetään niin kutsuttua manifest-tiedostoa, joka kertoo streamin rakenteen videosoittimelle. Videon aloittamiseen tarvitaan ainoastaan

manifest-tiedosto, jonka jälkeen soitin lataa haluamansa videosegmentit manifestissa määritellyistä URLeista. Alla on koodiesimerkki Microsoftin HSS-standardin manifest-tiedostosta.

```
<SmoothStreamingMedia
  MajorVersion="2"
  MinorVersion="1"
  Duration="5964583334">
  <StreamIndex
    Type="video"
    Name="video"
    Chunks="299"
    QualityLevels="8"
    MaxWidth="1280"
    MaxHeight="720"
    DisplayWidth="1280"
    DisplayHeight="720"
    Url="QualityLevels({bitrate})/Fragments(video={start time})">

  <QualityLevel
    Index="0"
    Bitrate="2962000"
    FourCC="H264"
    MaxWidth="1280"
    MaxHeight="720"
    CodecPrivateData="000000016764001FAC2CA50...." />

  </StreamIndex>
</SmoothStreamingMedia>
```

KUVIO 1. Microsoftin HSS-standardin manifest-tiedosto (Microsoft 2013.)

Manifest tiedosto sisältää seuraavia tietoja:

- Yleisiä metatietoja, kuten videon pituus.
- Minkä tyyppistä mediaa on saatavilla (ääni, video, teksti jne)
- Järjestysluku jokaiselle segmentille, sekä niiden URLit.
- Segmenttien pituudet ja niiden aloituskohdat.
- Mitä laatuluokkia on saatavilla (resoluutio, kaistanleveys, kuvataajuus)

(Microsoft 2013.)

Markkinoilla käytetyimpiä adaptiivisen suoratoiston standardeja ovat Microsoftin Smooth Streaming (HSS), Applen HTTP Live Streaming (HLS), Adobe'n HTTP Dynamic Streaming (HDS) sekä MPEGin Dynamic Adaptive Streaming over HTTP

(DASH). Vaikka HSS, HLS ja HDS – standardit ovat kehittäneet voittoa tavoittelevat yksityiset yritykset, ovat standardien tiedot julkisia.

Standardit ovat hyvin samanlaisia ja toimivat samalla tapaa, kuin tässä kappaleessa on esitetty. Suurimmat eroavaisuudet tulevat manifest-tiedoston syntakseissa ja median tiedostomuodoissa. Standardien suorituskyky eroavaisuudet johtuvat enemmän käyttäjän videotiimestä, kaistanleveydestä tai tietokoneesta, kuin itse standardeista.

4.3.1 HTTP Dynamic Streaming (HDS)

HDS-protokolla on Adoben kehittämä vaihtoehto heidän aikaisemmin kehittämälle RTMP (Real Time Messaging Protocol) protokollalle. HDS-protokollalla voidaan lähettää videota HTTP:n yli mille tahansa laitteelle, joka on yhteensopiva Adoben Flash tai –Air sovelluksen kanssa. (Adobe 2013.)

HDS-tekniikan pyöriessä Adobeb Flash toistimen päällä, tekniikan avulla ei voida toistaa mediaa Android- tai iOS-käyttöjärjestelmillä.

4.3.2 HTTP Live Streaming (HLS)

HLS-protokolla on Applen kehittämä adaptiivinen suoratoistotekniikka heidän iOS-laitteilleen sekä QuickTime-mediasoittimeen. HLS-tuki on lisätty myös Android 3.0 versioon, mikä on tehnyt siitä ideaalisen protokollan välittää videokuvaa mobiililaitteille.(ietf.org 2011.)

4.3.3 HTTP Smooth Streaming (HSS)

HSS-standardi on Microsoftin tuottama adaptiivinen suoratoistotekniikka. HSS- pyörii Microsoftin IIS-palvelimella sekä käyttäjillä Silverlight-mediasoittimilla. Silverlight-mediasoitin tunnistaa käytettävissä olevan internet-yhteyden nopeuden sekä tietokoneen prosessorin tehon ja määrittelee näiden perusteella sopivan kaistanleveyden näytettävälle videolle.(Microsoft 2013.)

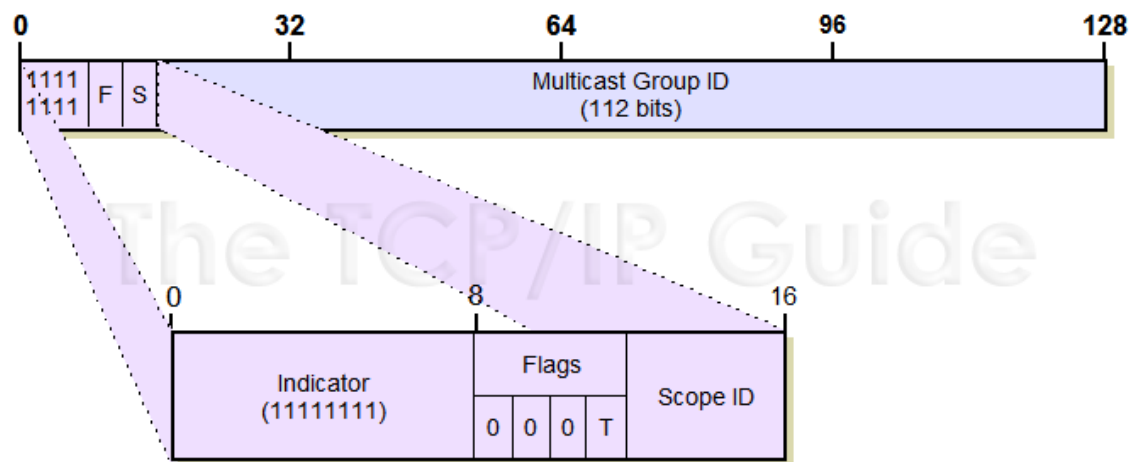
4.3.4 Dynamic Adaptive Streaming over HTTP (DASH)

DASH on Moving Picture Expert Groupin (MPEG) kehittämä adaptiivinen suoratoisto standardi. DASH on edellä mainituista standardeista ainoa, joka on saanut kansainvälisen virallisen ISO-standardi hyväksynnän (ISO/IEC 23009–1:2012). Toiminnaltaan DASH on samanlainen kuin edellä esitelty. DASH-standardin valttina on sen avoimuus ja toiminta eri rajapintojen välillä. Esimerkiksi standardiin liitettävällä avoimen lähdekoodin kirjasto libdash on alusta riippumaton, joten videon toisto onnistuu myös mobiilialustoilla, kuten Android, iOS ja Windows Phone. (Rüser 2013.)

5 Ryhmälähetys IPv6 järjestelmissä

IPv6-protokollan laajempi leviäminen on yleistynyt lähiaikoina. Tästä syystä on luonnollista tutkia hieman IPv6 ympäristön ryhmälähetystekniikoita. IPv6:sen tuomat suurimmat muutokset kohdistuvat IP-osoitteiden kirjoitustyyliin sekä miten niitä käytetään. Osoiteavaruus myös laajenee 32 bitistä 128 bittiin. IPv4:sta tuttu broadcast-tekniikkaa ei ole sisällytetty enään IPv6:een. Sen sijaan, multicast osoitteistoa on laajennettu ja tehty protokollan yhdeksi vaatimukseksi sekä esitelty uusi reititysmalli: jokulähetys (anycast).

Kuten kappaleessa 3.3 kerrottiin, IPv4 multicast osoitteisto sijoittuu luokkaan D. IPv6:ssa, multicast osoitteet allokoidaan omasta multicast lohkostaan. Lohko vie 1/256:nen osan koko IPv6 osoiteavaruudesta, sisältäen kaikki osoitteet jotka alkavat ”1111.1111” eli heksadesimaalina ”FF”.(tcpipguide.com 2005.)



KUVA 8. IPv6 Multicast osoiterakenne (tcpipguide.com 2005.)

5.1 Multicast Listener Discovery (MLD)

Multicast Listener Discovery (MLD) on IPv6-protokollan vastine IPv4-protokollassa käytettävälle IGMP:lle. Nykyinen MLD-protokollan versio 2 on esitelty IETF standardissa RFC3810, (ietf.org 2004.) mikä on hyvin samanlainen kuin IGMPv3. MLDv2 on yhteensopiva aikaisemmin MLDv1 standardin kanssa, joka taas on

samankaltainen IGMPv2 kanssa. MLD-protokollaa käytetään jakamaan multicast-ryhmätietoja käyttäjien ja reitittimien välillä IPv6 verkossa.

Vaikka MLD toimivuus on lähes samanlainen kuin IGMP, löytyy protokollien väliltä muutamia eroavaisuuksia. MLD on sulautettu alaprotokollana ICMPv6-protokollaan, kun taas IGMP on omana protokollanaan IP-protokollan päällä.

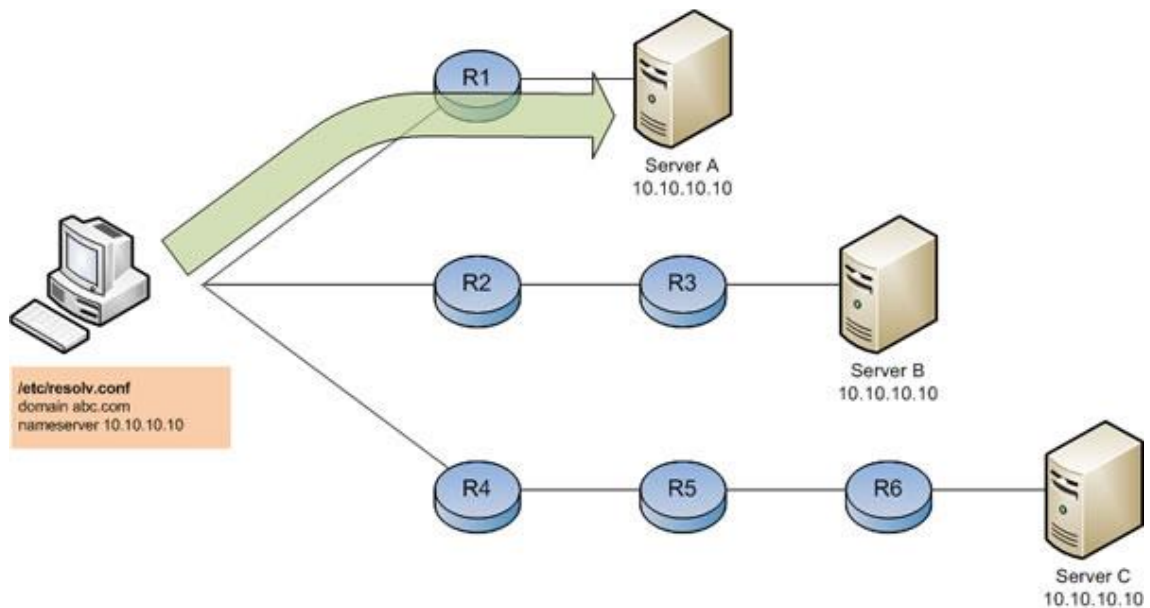
MLD sisältää kolme viestiä: Query, Report ja Done. Käyttäjän liittyessä multicast-ryhmään, lähettää päätelaite Report viestin reitittimelle, mitä multicast osoitetta käyttäjä haluaa kuunnella. Reititin vastaa Query viestillä vahvistaakseen, että käyttäjä on edelleen kiinnostunut liittymään multicast-ryhmään. Done-viesti on samanlainen kuin IGMP Leave-viesti. Leave-viestillä ilmoitetaan reitittimelle, kun käyttäjä ei halua enään vastaanottaa ryhmälähetysviestejä. (Cisco 2013.)

5.2 Multicast Listener Discovery Snooping

Multicast Listener Discovery Snooping on vastaavanlainen kuin IGMP Snooping-toiminto. MLD Snooping tekniikan avulla, OSI-mallin toisen tason kytkin voi todeta ne portit, missä on IPv6 multicast-viestien vastaanottajia. Snoopingin avulla, kytkin välittää MLD-viestit vain niihin portteihin, missä vastaanottaja on kiinnostunut vastaanottamaan viestejä sen sijaan, että kytkin välittäisi viestit jokaiseen porttiin. (ietf.org 1999)

5.3 Jokulähetys (Anycast)

Osana IPv6 standardin vaatimuksiin tuotiin anycast-yhteystapa. Anycastin avulla paketit voidaan lähettää ryhmälle siten, että viestin vastaanottajia voi olla vain osa ryhmän jäsenistä. Anycast käyttää hyväkseen olemassa olevaa reititysprotokollaa tunnistakseen lähimmän solmukohdan ja kohdistaa paketin siihen. OSI-mallin kolmannen kerroksen reititys tietoihin perustuen, paketti välitetään lähimpään anycast osoitteeseen. Verkossa voi siis olla useita saman anycast IP-osoitteen omaavia laitteita.



KUVA 9. Esimerkki anycastin toiminnasta. Käyttäjä yhdistää lähimpään palvelimeen. (ISP India 2011.)

Hyvänä esimerkkinä voidaan ottaa DNS-palvelin (Domain Name System). Käyttäjä pyytää yhteyttä reitittimen tiedoissa olevaan DNS-osoitteeseen ja reititin välittää pyynnön lähimpään DNS-palvelimeen.

Anycast yhteystapaa voidaan käyttää myös IPTV-tekniikassa. Kun verkossa on useampi samanlainen videopalvelin voidaan käyttäjät ohjata olemaan yhteydessä aina heidän kannalta parhaimpaan palvelimeen. Palvelimen valintaa voidaan säädellä käytössä olevilla QoS vaatimuksilla. (ISP India 2011.)

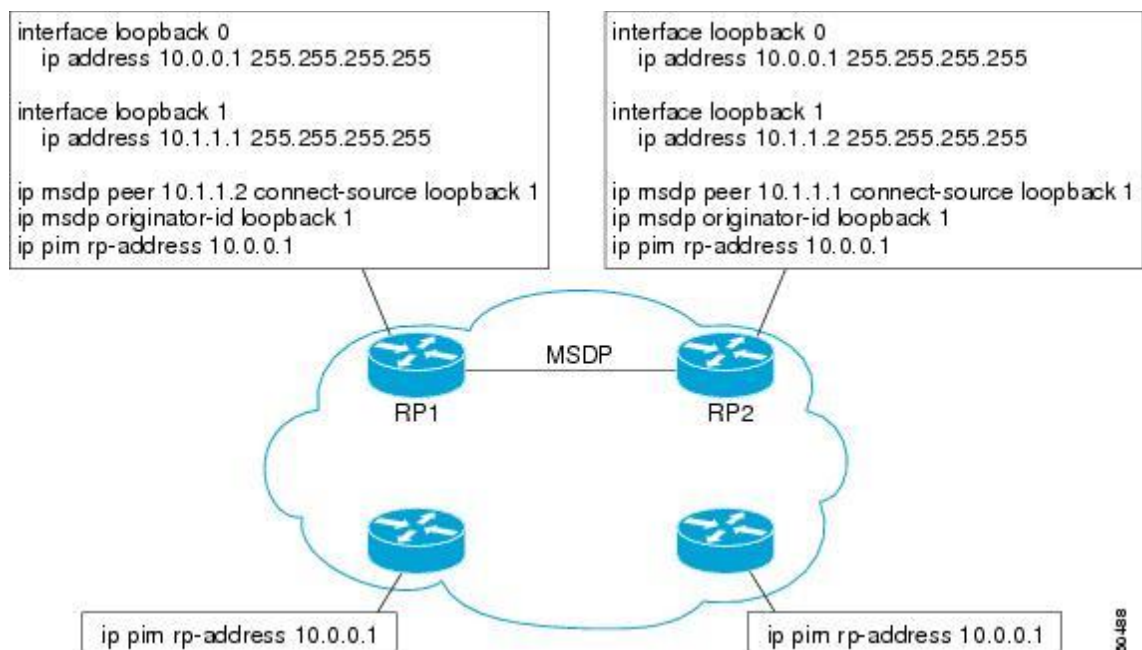
5.4 Anycast Rendezvous Point (Anycast RP)

Anycast RP on MSDP-sovellus, joka tyypillisesti asennetaan PIM-SM:n rinnalle, vastaamaan virheen korjauksen vaatimuksista yhden ryhmälähetys verkkotunnuksen sisällä.

Anycast RP:ssä asetetaan kahdelle tai useammalle kohtaamispaikalle sama IP-osoite loopback liitäntään. Anycast RP loopback osoitteella tulisi olla asetettuna 32-bittinen maski, tehden siitä isäntäosoitteen. Muihin verkossa oleviin reitittimiin tulee konfiguroida Anycast RP loopback osoite, jotta ne tietävät, mikä on niiden lokaali RP. IP-reititys valitsee automaattisesti lähimmän RP:n jokaiselle lähettäjälle ja vastaanottajalle. Koska lähettäjä ja vastaanottaja voivat olla yhteydessä eri RP:en, pitää

RP:den vaihtaa tietoa keskenään. Tiedonvaihtoon käytetään MSDP-protokollaa, joka esiteltiin kappaleessa 3.4.

Anycast RP:t ovat konfiguroitu olemaan MSDP-vertaisia toisillensa. Kun lähettäjä rekisteröityy lähimpään RP:seen lähetetään MSDP-SA viesti muille RP:lle ilmoittaen, että täällä on olemassa aktiivinen lähde tietylle multicast-ryhmälle. Mikäli lähteen RP tippuu pelistä pois, tulee reitityspuun mukaisesti seuraavasta RP:stä aktiivinen kyseiselle lähteelle. (Cisco 2013)



KUVA 10. Anycast RP:n käyttö MSDP kytkennässä (24)

Kuvassa 10 on esimerkki konfiguraatio Anycast RP:stä. RP1:lla ja RP2:lla on yhteinen IP-osoite 10.0.0.1 loopback 0 liitännässä. MSDP on kytketty päälle molempien reitittimien loopback 1 liitännään ja reitittimille on konfiguroitu naapurin vertaisosoite (MSDP peer).

6 Elisa Viihde palvelu

Elisa Viihde on TV ja internet-palveluista koostuva palvelukokonaisuus. Palveluun kuuluu laajakaistayhteys sekä HD-digiboksi. Digiboksilla pystyy tallentamaan TV-ohjelmia peruskanavilta. Digiboksin sovellusvalikoimaan kuuluu myös maksukanavat sekä VoD-palvelut. Elisa Viihde on mielenkiintoinen palvelu IPTV-tekniikan näkökulmasta. Palvelu käyttää eri tekniikoita laajasti eri palveluissaan.

6.1 Tallenteet

Elisa Viihteen digiboksilla tallennetut ohjelmat tallennetaan eräänlaiseen pilvipalveluun. Tallennuksia pystyy katsomaan tietokoneella, mobiililaitteilla tai suoraan digiboksilla. Tallennukset tuodaan päätelaitteelle TCP-protokollan yli HTTP-virtana, mikä mahdollistaa tallenteiden katsomisen useammalla rajapinnalla.

6.2 VoD

Elisa Viihteen tilausvideopalvelun videot toimitetaan käyttäjälle unicastilla käyttäen RTP-protokollaa. Tilausvideot ovat UDP-paketteja.

6.3 Lisäkanavat ja maksukanavat

Elisa Viihteen lisäkanavat ja maksukanavat toimitetaan xDSL sekä ethernet tekniikassa multicast signaalina. Maksukanavien ja lisäkanavien erona, on ainoastaan maksukanavissa tapahtuva salauksen purku. Kuvassa 11 näemme esimerkin kanavan vaihdosta. Kolmas paketti on IGMPv3 protokollan Leave Group viesti, jolla digiboksi ilmoittaa lähtevänsä 239.192.105.140 ryhmästä. Reititin lähettää Membership Query viestillä tiedon multicast-ryhmälle onko lähiverkossa multicast-ryhmään halukkaita osallistujia. Digiboksi lähettää Membership Report viestin, missä se vahvistaa vanhasta ryhmästä poistumisen ja liittyykseen uuteen 239.192.105.67 ryhmään.

7996	10.5188380	195.238.200.2	239.192.105.140	MPEG TS	1358 Scrambled TS payload
7997	10.5199430	195.238.200.2	239.192.105.140	MPEG TS	1358 Scrambled TS payload
7998	10.5199860	192.168.1.37	224.0.0.22	IGMPv3	60 Membership Report / Leave group 239.192.105.140
7999	10.5211710	195.238.200.2	239.192.105.140	MPEG TS	1358 Scrambled TS payload
8000	10.5222770	195.238.200.2	239.192.105.140	MPEG TS	1358 Scrambled TS payload
8001	10.5624500	192.168.1.1	239.192.105.140	IGMPv3	60 Membership query, specific for group 239.192.105.140
8002	11.0503710	192.168.1.37	224.0.0.22	IGMPv3	62 Membership Report / Leave group 239.192.105.140 / Join group 239.192.105.67 for any sources
8003	11.1692580	195.238.200.2	239.192.105.67	MPEG TS	1358 Scrambled TS payload
8004	11.1703490	195.238.200.2	239.192.105.67	MPEG TS	1358 Scrambled TS payload

KUVA 11. IPTV-kanavan vaihto Elisa Vihteessä.

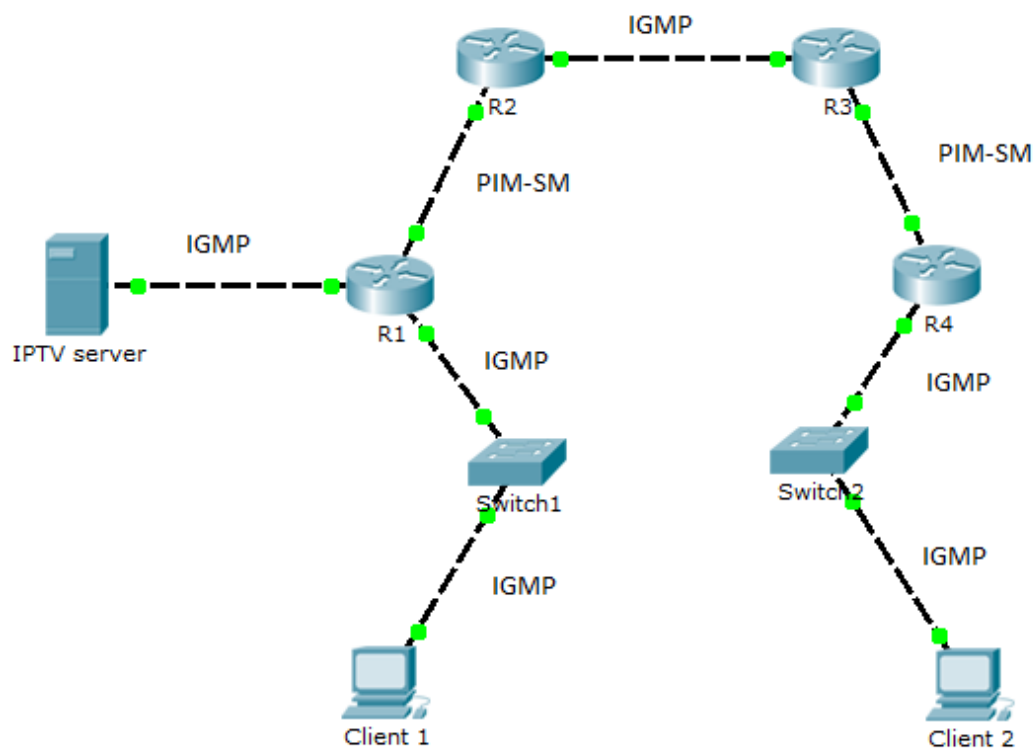
Kaapeliverkossa maksukanavat toimitetaan kaapelikanavapaikoilla tavallisena kaapeli-TV signaalina. Komento salauksen purkamiseen toimitetaan digiboksille IP-verkon yli.

7 Ryhmälähetyksen käytännön testaus

Työn tarkoituksena oli oppia ymmärtämään ryhmälähetyksprotokollien ja adaptiivisten suoratoistoprotokollien toimintaa sekä kehittää itseäni IPTV-tekniikan parissa ja mahdollisuuden tuoda itselleni ja työnantajalleni uusia näkökulmia palveluiden kehittämisessä tulevaisuudessa.

Työssä suoritettiin käytännön osuus tutustuen ryhmälähetykseen laboratorio ympäristössä.

Ryhmälähetystä testattiin koulun Cisco-luokassa. Kytkenän tarkoituksena oli oppia konfiguroimaan IGMP sekä PIM-SM protokollat sekä tutkimaan multicast verkon liikennettä.



KUVA 12. Ryhmälähetyksen testikytkentä

Testaus aloitettiin rakentamalla kuvan 12 mukainen kytkentä. Kuvaan on merkitty protokollat, jotka ovat käytössä laitteiden välillä. Reitittimien välillä käytettiin PIM-SM protokollaa ja lähiverkon kytkennöissä ryhmälähetysviestien välittämiseen käytettiin

IGMP-protokollaa. Verkon reititysprotokollaksi valittiin EIGRP. Kytkimiin asetettiin IGMP Snooping aktiiviseksi.

VLC-mediasoitin ohjelmalla laitettiin IPTV-palvelin lähettämään verkkoon kahta eri videota, kahdessa eri D-luokan IP-osoitteesta. Ryhmälähetys ryhmien IP-osoitteiksi valittiin 239.10.10.10 sekä 239.11.11.11. Käyttäjän koneella mediasoitin yhdistettiin ryhmälähetys ryhmän IP-osoitteeseen.

2256	43.788931	192.168.1.2	239.11.11.11	UDP	1370 Source port: 64853 Destination port: avt-profile-1
2257	44.386758	192.168.2.3	224.0.0.2	IGMPv2	60 Leave Group 239.11.11.11
2258	44.387320	192.168.2.1	239.11.11.11	IGMPv2	60 Membership Query, specific for group 239.11.11.11
2259	44.456738	192.168.2.3	239.10.10.10	IGMPv2	60 Membership Report group 239.10.10.10
2260	44.494585	192.168.1.2	239.10.10.10	UDP	1370 Source port: 64849 Destination port: avt-profile-1

KUVA 13. Ryhmälähetysryhmän vaihto testikytkennässä.

Kuvassa 13 näemme esimerkin kanavan vaihdosta. Toinen paketti on IGMPv2 protokollan Leave Group viesti, jolla asiakaskone ilmoittaa lähtevänsä 239.11.11.11 ryhmästä. Reititin lähettää Membership Query-viestillä tiedon multicast-ryhmälle onko lähiverkossa mihinkään multicast-ryhmään halukkaita osallistujia. Asiakaskone lähettää Membership Report-viestin, missä se ilmoittaa liittyvänsä uuteen 239.10.10.10 ryhmään.

Molemmat asiakaskoneet yhdistettiin samaan multicast-ryhmään. Molemmissa koneissa video toistui samasta kohdasta, vaikka yhdistäminen tehtiin eri aikaan. Voimme pitää testausta onnistuneena IPTV-kanavan välittämisenä palveluntarjoajalta kuluttajalle.

Group	Address	Interface	Uptime	Expires	Last Reporter
239.255.255.250		FastEthernet0/1	01:56:22	00:02:36	192.168.1.2
239.11.11.11		FastEthernet0/1	00:00:12	stopped	192.168.1.1
239.10.10.10		FastEthernet0/1	00:00:29	stopped	192.168.1.1
224.0.1.40		FastEthernet0/0	01:28:21	00:02:33	10.0.1.1

KUVA 14. Ryhmälähetysryhmän osoitteet ja reitti R1-reitittimellä

Kuvassa 14 on R1 tiedossa olevat multicast-ryhmän osoitteet sekä reitti, mistä multicast-ryhmä löytyy. Tässä tapauksessa IPTV-palvelimen osoite oli 192.168.1.1.

8 Tulevaisuuden IPTV-tekniikat

IPTV-palveluiden lisääntyessä ja käyttäjämäärien kasvaessa, pitää tulevaisuuden palveluissa ottaa huomioon järjestelmien adaptiivisuus ja virheiden sietokyky.

8.1 Adaptiivinen ryhmälähetystekniikka

Adaptiivisia ryhmälähetystekniikoita on esitetty muutamia erilaisia, mutta tällä hetkellä mikään niistä ei ole laajemmassa käytössä.

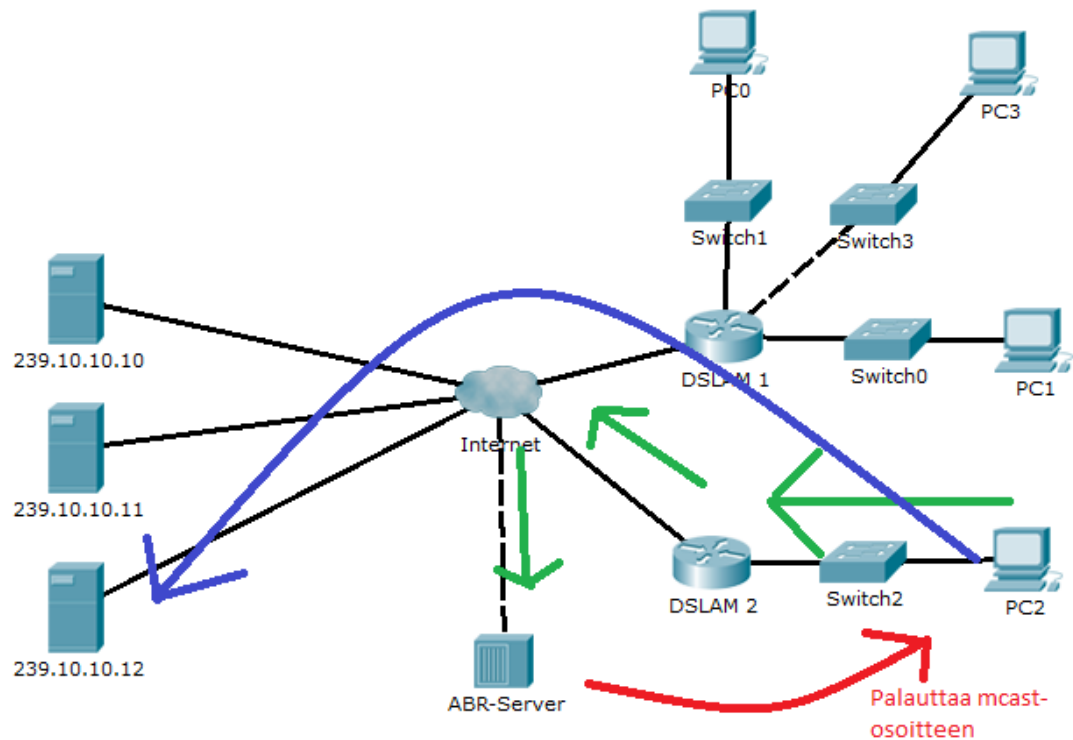
Seuraavassa esitän oman näkemykseni adaptiivisesta ryhmälähetyksestä toteutuksesta. Videotiedosto jaettaisiin adaptiivisen suoratoistoprotokollan mukaisesti eri laatuisiin ja kaistanleveydeltään erikokoisiin tiedostoihin. Eri laatuiset videot jaettaisiin omiin multicast-ryhmiinsä.

Otetaan esimerkiksi TV-kanava, joka on jaettu bittinopeudeltaan 2-, 6- ja 10 Mbps. Eri bittinopeuksille luodaan oma multicast-ryhmänsä, jotka on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Multicast-ryhmät eri bittinopeuksille

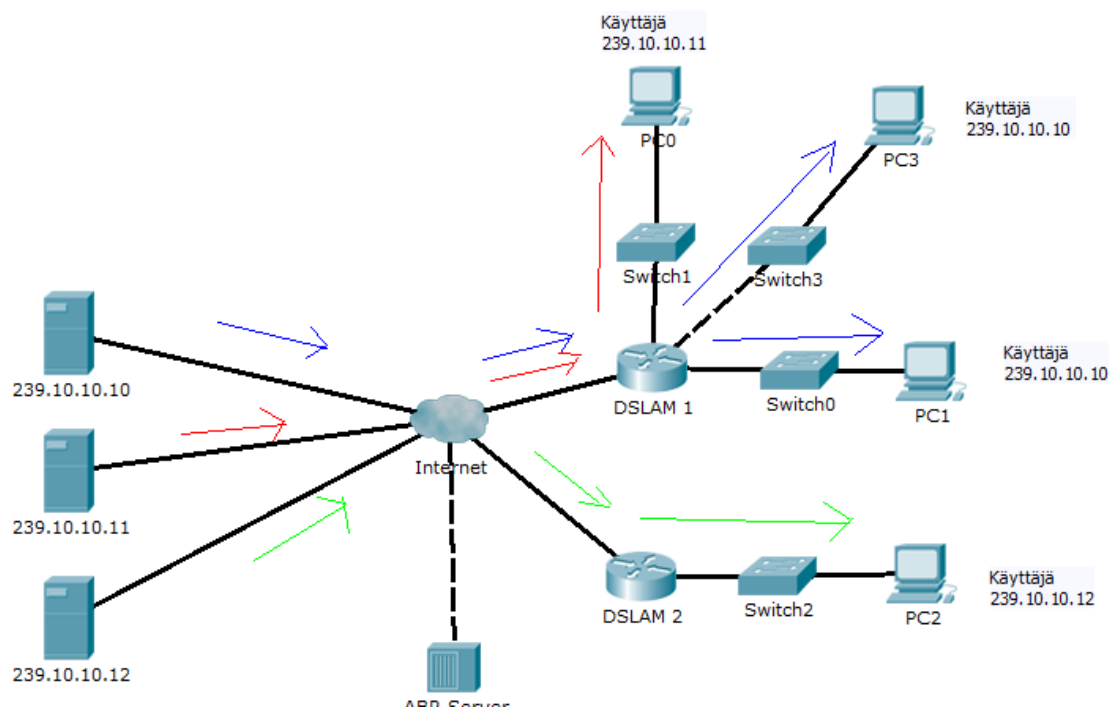
2 Mbps	239.10.10.10
6 Mbps	239.10.10.11
10 Mbps	239.10.10.12

Kuvassa 15 on esitetty yhdistämismalli. TV-kanavalle siirtyessä, päätelaite ottaa yhteyden palvelimeen, joka arvio määritettyjen QoS arvojen perusteella, mikä bittinopeus valitaan lähetettäväksi päätelaitteelle. Yhteyden laadun tarkastelun jälkeen, palvelin välittää päätelaitteelle tiedon valitsemastaan multicast-ryhmäosoitteesta ja päätelaite ottaa yhteyden ilmoitettuun multicast-ryhmään.



KUVA 15. Päätelaitteen yhdistäminen multicast-ryhmään adaptiivisessa ryhmälähetyksessä.

Kuvassa 16 on esitetty multicast-signaalin reitti laajemmassa mittakaavassa.



KUVA 16. Adaptiivinen ryhmälähetys

Esitetty malli ei vähennä verkon kuormaa verrattuna tavalliseen ryhmälähetykseen, mutta se vähentäisi kuormaa verrattuna adaptiiviseen suoratoistoon. Kuvassa 16 DSLAM 1 ottaa vastaan kahden multicast-ryhmän signaalin ja välittää ne eteenpäin. Mikäli kaikki päätelaitteet käyttäisivät pelkästään adaptiivista suoratoistoa, vastaanottaisi DSLAM kolme pakettivirtaa.

Esitetyssä mallissa käyttäjille pystytään tarjoamaan parempi QoE, sillä video skaalautuu vallitsevan tietoliikenneyhteyden laadun perusteella. Kyseistä mallia voitaisiin käyttää palveluissa, missä katsojamäärät ovat runsaat, kuten TV-ähetyksissä.

8.2 IPTV kaapeliyhteyden yli

Kaapelitelevisio-operaattorit pystyvät toimittamaan satoja kanavia samanaikaisesti tuhansille katsojille. Jokainen käyttäjä pystyy virittämään televisionsa tai digiboksin haluamalleen kanavalle. Interaktiivisuutta televisio-palveluilla ei kuitenkaan ole, sillä signaali on yksisuuntaista.

Kaapelioperaattorit ovat alkaneet etsimään ratkaisuja, kuinka käyttäjille voidaan tarjota kokonaisvaltaisempaa palvelua. Kanavien toimittaminen IP-paketteina kaapeliverkon yli on houkutteleva vaihtoehto. Tällä hetkellä Tampereen tietoverkolla on käytössä 8MHz kaistanleveys, joka käyttää symbolinopeutta 6900ks/s ja QAM-256-modulaatiota.(Tampereen tietoverkko 2013.) QAM-256-modulaatiolla, kaistan bittinopeus on 50.8Mbit/s. Jos SD-kanavaa lähetetään IP-paketteina kaapeliverkon yli bittinopeudella 2.5Mbit/s, mahtuisi kanavia 20 yhteen 8MHz kanavanippuun. Tällä hetkellä Tampereen tietoverkolla on keskimäärin 8 SD-kanavaa per kanavanippu.

Muutosta en kuitenkaan usko lähitulevaisuudessa tapahtuvan. Suomessa televisiokanavia on verrattain vähän, joten ne mahtuvat hyvin operaattorien kaapelitaajuuksille. Lisäksi muutos aiheuttaisi kohtalaisia investointeja kaapelioperaattoreille.(Ikonen 2009, 216.)

8.3 Videoiden pakkaus MPEG2 ja MPEG4

Tulevaisuuden IPTV-järjestelmissä multimedian pakkauksen kehittämisellä on suuri vaikutus saavutettavaan kuvan ja äänen laatuun sekä verkkoresurssien käyttöön.

Tällä hetkellä osa IPTV-palveluntarjoajista toimittaa lähetyksiä vielä käyttäen MPEG2 standardia vaikka parempiakin olisi tarjolla.

MPEG2 ja MPEG4 ovat video- ja äänimateriaalin pakkaustandardeja. Kummassakin standardissa lyhenne muodostuu Moving Pictures Experts Group –sanoista, joka koostuu eri teollisuuksien ja yliopistojen muodostamasta ryhmästä.

Multimediamateriaalin pakkaamisen tarkoituksena on tiedostojen käsittelyn helpottuminen. Suurten tiedostojen siirtäminen käyttäjälle on aikaa vievää nopealtakin siirtoyhteydeltä ilman pakkaamista. Pakkausstandardien tarkoitus on pienentää tiedostojen kokoa, ottaen kuitenkin huomioon video ja äänitiedostojen laadun säilymisen sopivalla tasolla.

8.3.1 MPEG2

MPEG2 on teollisuusstandardi, jota käytetään laajalti DVD:ssä sekä digitaali televisiolähetyksissä kaapeli- ja antenniverkossa. MPEG2 laatu on moitteetonta, mutta sitä ei ole suunniteltu IP-verkkojen yli tapahtuvaan multimedian siirtämiseen. MPEG2:lla pakatut tiedostot ovat verrattain suuria, joka taas vaatii IP-verkon yli siirtäessä käyttäjältä nopeampaa yhteysnopeutta. Wiresharkilla analysoitaessa Elisa Viihteen multicast signaalia, huomaamme, että kyseinen lähetys on pakattu MPEG2-standardilla. (Simpson 2008, 107.) (Ericsson 2010.)

```
[Frame 15 ignored: false]
[Protocols in frame: eth:ip:udp:mp2t]
[Coloring Rule Name: UDP]
```

KUVA 17. Wireshark analyysi multicast-paketista

8.3.2 MPEG4

MPEG4 version pakkausalgoritmi on kehitetty verkkoalustoja silmällä pitäen. MPEG4 pakkausalgoritmi on paljon monimutkaisempi kuin MPEG2, sillä se on suunniteltu saavuttamaan korkealaatuisia videoita suhteellisen matalalla bittinopeudella. Suuret suoratoistopalvelut, kuten iTunes ja Netflix käyttävät H.264 pohjaista MPEG4 koodausta. MPEG4 AVC/H264 pystyy saavuttamaan vertailukelpoista kuvan laatua MPEG2 kanssa vain puolella bittinopeudella. Tosin tämä vaatii veronsa. Pakkaus- ja purkuvaiheessa vaaditaan laitteilta enemmän tehoa. H.264 käytetään jo monikanavaisissa IPTV lähetyksissä ja internet video sovelluksissa. MPEG4 on vartenotettava pakkausstandardi uusiin IPTV-sovelluksiin. (Ericsson 2010.) (Simpson 2008, 112.)

9 Pohdinta

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia nykyisten IPTV-järjestelmien tekniikoita. Opinnäytetyön tekeminen IPTV-järjestelmistä on tarjonnut minulle hyvät valmiudet työskennellä tulevaisuudessa IPTV-tekniikan parissa. Opin valtavasti uusia asioita ja pystyn varmasti tarjoamaan uusia näkemyksiä työnantajalleni.

Opinnäytetyön käytännön osuus jäi pienimuotoiseksi, mutta erittäin hyödylliseksi, sillä ryhmälähetyksen testaaminen kotiloissa on rajallista. Itse työn tekeminen sujui joutuisasti, sillä konfiguroinnit olin suunnitellut jo valmiiksi ennen laboratoriokokeita.

Tämän hetken IPTV-järjestelmät toimivat kohtalaisen hyvin, mutta parannettavaa löytyy ja kehitystä pitää tapahtua, jotta tekniikassa pysytään käyttäjämäärien kasvun mukana. IPTV-palveluiden käyttäjämäärät kasvavat tällä hetkellä nopeammin kuin verkkojen kapasiteetti. Ryhmälähetyks on mainio keksintö pitämään verkkojen kapasiteetin kurissa, mutta adaptiivisuutta se ei tarjoa. Adaptiivinen suoratoisto tarjoaa käyttäjälle hyvän kokemuksen keskeytymättömästä palvelusta, mutta palveluiden ja käyttäjien lisääntyessä verkkojen kuormitus kasvaa.

Ryhmälähetystä pitää kehittää adaptiivisemmaksi, jotta kaikille käyttäjille pystytään tarjoamaan keskeytymätöntä palvelua. Palveluiden adaptiivisuudella käyttäjien QoE on paremmalla tasolla.

Jatkokehityksenä voisi tässä työssä esitettyä adaptiivisen ryhmälähetystekniikkaa lähteä tutkimaan ja kehittämään.

LÄHTEET

Viestintäministeriö. IPTV:n lähitulevaisuus. Luettu 3.10.2013.

http://www.lvm.fi/c/document_library/get_file?folderId=1551284&name=DLFE-11719.pdf&title=Julkaistu%201-2011

The Economic Times. What is IP television. Luettu 3.10.2013.

http://articles.economictimes.indiatimes.com/2006-11-27/news/27425252_1_ip_tv-service-internet-protocol-television-boxes-with-broadband-internet

IPTV Australia. IPTV In Depth. Luettu 3.10.2013.

<http://www.iptv.com.au/iptv-in-depth/>

Point-topic.com. Global IPTV subscriber numbers Q1 2013. Luettu 13.10.2013.

http://point-topic.com/free-analysis/global-ip_tv-subscriber-numbers-q1-2013/

iee.org. Broadband. Luettu 13.10.2013.

http://www.iee.org/newsletter/jan07_2/broadband_1.html

cs.jhu.edu. Unicast Routing Protocols. Luettu 22.10.2013.

<http://www.cs.jhu.edu/~cs647/dsdv.pdf>

ietf.org. RFC5771. Luettu 24.10.2013.

<http://tools.ietf.org/html/rfc5771>

utdallas.edu. Multicast deployment issues. Luettu 24.10.2013.

<http://www.utdallas.edu/~kxs028100/Papers/multicast-deployment-issues.pdf>

ietf.org. RFC1112. Luettu 24.10.2013.

<http://tools.ietf.org/html/rfc1112>

ietf.org. RFC2236. Luettu 28.10.2013.

<http://tools.ietf.org/html/rfc2236>

ietf.org. RFC3376. Luettu 29.10.2013.

<http://tools.ietf.org/html/rfc3376>

H3C.com. IGMP Snooping. Luettu 29.10.2013.

http://www.h3c.com/portal/Products_Solutions/Technology/IP_Multicast/Technology_Introduction/200702/201356_57_0.htm

Cisco.com. Protocol Independent Multicast. Luettu 30.10.2013.

http://www.cisco.com/en/US/docs/ios/solutions_docs/ip_multicast/White_papers/mcst_ovr.html#wp1009068

ietf.org. RFC4601. Luettu 4.11.2013.

<http://tools.ietf.org/html/rfc4601>

Onlinevideo.net. Streaming Vs. Progressive Download Vs. Adaptive Streaming. Luettu 5.11.2013.

<http://www.onlinevideo.net/2011/05/streaming-vs-progressive-download-vs-adaptive-streaming/>

Adobe.com. HTTP Dynamic Streaming. Luettu 5.11.2013.

<http://www.adobe.com/products/hds-dynamic-streaming/faq.html>

Ericsson.net. HTTP Adaptive Streaming. Luettu 6.11.2013.

<http://archive.ericsson.net/service/internet/picov/get?DocNo=28701-FGD101097&Lang=EN&HighestFree=Y>

Microsoft. IIS Smooth Streaming. Luettu 7.11.2013.

[http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ee673436\(v=vs.90\).aspx](http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ee673436(v=vs.90).aspx)

Riiser Haakon. Adaptive Bitrate Video Streaming. Luettu 7.11.2013.

<http://heim.ifi.uio.no/paalh/students/HaakonRiiser-phd.pdf>

ietf.org. RFC3810. Luettu 11.11.2013.

<http://tools.ietf.org/html/rfc3810>

Cisco.com. Multicast Listener Discovery Protocol. Luettu 11.11.2013.

http://www.cisco.com/en/US/docs/ios-xml/ios/ipmulti_lsm/configuration/xe-3s/ipv6-mcast-mld-xe.html

ietf.org. RFC3618. Luettu 11.11.2013.

<http://tools.ietf.org/html/rfc3618>

ISP India. Anycast DNS. Luettu 14.11.2013.

<http://ispindia.in/2011/02/11/anycast-dns-overview/>

Cisco.com. Anycast RP. Luettu 14.11.2013.

http://www.cisco.com/en/US/docs/ios/solutions_docs/ip_multicast/White_papers/anycast.html

ietf.org. RFC3605. Luettu 19.11.2013.

<http://tools.ietf.org/html/rfc3605>

ietf.org. RFC2326. Luettu 19.11.2013.

<http://www.ietf.org/rfc/rfc2326.txt>

Streaming Learning Center. H264 vs MPEG-2. Luettu 20.11.2013.

<http://www.streaminglearningcenter.com/articles/h264-vs-mpeg-2-quality.html>

Ericsson. Difference between MPEG-4 AVC and MPEG-2. Luettu 20.11.2013.

https://secure.connect.pbs.org/conferences/technology/2010/presentations/Wed_MPEG-4%20AVC%20vs%20MPEG-2_1630_Goldman.pdf

Ikonen Ari, K. 2009. Teräväpiirtotelevisio. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy.

tcpipguide.com. IPv6 Multicast and Anycast Addressing. Luettu 11.11.2013.
http://www.tcpipguide.com/free/t_IPv6MulticastandAnycastAddressing.htm

starnetworks.info. Multicasting. Luettu 16.12.2013.
<http://www.startnetworks.info/2011/04/multicasting.html>

Cisco. PIM Sparse-mode Tree. Luettu 16.12.2013.
http://www.cisco.com/web/about/ac123/ac147/ac174/ac198/about_cisco_ipj_archive_article09186a00800c851e.html

H3C.com. Multicast Configuration. Luettu 16.12.2013.
http://www.h3c.com/portal/Technical_Support_Documents/Technical_Documents/WLAN/Access_Controller/H3C_WX3000_Series_Unified_Switches/Configuration/Operation_Manual/H3C_WX3000_CG-6W103/201007/685295_1285_0.htm

ietf.org. RFC3550. Luettu 16.12.2013.
<http://www.ietf.org/rfc/rfc3550.txt>

ietf.org. HTTP Live Streaming. Luettu 5.11.2013.
<http://tools.ietf.org/html/draft-pantos-http-live-streaming-07>

Microsoft. Smooth Streaming. Luettu 5.11.2013.
<http://www.iis.net/downloads/microsoft/smooth-streaming>

ietf.org. RFC3550. Luettu 11.11.2013.
<http://www.ietf.org/rfc/rfc2710.txt>

Tampereen tietoverkko. Digitv:n verkkoparametrit. Luettu 20.11.2013.
<http://www.ttv.fi/>

Simpson Wes, 2008. Video over IP. USA: Elsevier Inc.